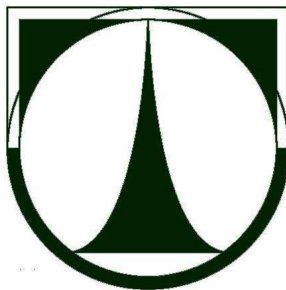


Technická univerzita v Liberci  
Fakulta strojní



Tomáš Minařík

# **VÝMĚNA NÁSTROJŮ U PROTOTYPU VÍCEÚČELOVÉHO CNC STROJE**

Bakalářská práce

2010

---

Katedra výrobních systémů  
Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra výrobních systémů

Obor: Strojírenství

Zaměření: Výrobní systémy

## **VÝMĚNA NÁSTROJŮ U PROTOTYPU VÍCEÚČELOVÉHO CNC STROJE**

### **TOOL CHANGING ON THE MULTIFUNCTIONAL CNC MACHINE PROTOTYPE**

KVS – VS – 89

Tomáš Minařík

Vedoucí práce: Ing. Petr Zelený, Ph.D.

Počet stran: 39

Počet příloh: 4

Počet obrázků: 25

Počet tabulek: 0

Počet modelů: 0

nebo jiných příloh: 0

V Liberci 28. 5. 2010

**TÉMA: VÝMĚNA NÁSTROJŮ U PROTOTYPU  
VÍCEÚČELOVÉHO CNC STROJE**

**ANOTACE:** Rozbor možností výměny nástrojů u obráběcích strojů. Návrh řešení a postupu výměny nástrojů u prototypu CNC stroje, seřízení a kalibrace nástroje. Praktická aplikace a testování.

**THEME: TOOL CHANGING ON THE MULTIFUNCTIONAL  
CNC MACHINE PROTOTYPE**

**ANOTATION:** Analysis of the possibilities for exchange of machine tools. Suggestion of solutions and procedure for the exchange of tools on the CNC machine prototype, tools adjustment and calibration. Practical application and testing.

Desetinné třídění:

**Klíčová slova:** CNC, nástroj, kalibrace

**Zpracovatel:** TU v Liberci, Fakulta strojní,  
Katedra výrobních systémů

**Dokončeno:** 2010

**Archivní označení zprávy:**

**Počet stran:** 39

**Počet příloh:** 4

**Počet obrázků:** 25

**Počet tabulek:** 0

**Počet modelů:** 0

**nebo jiných příloh:** 0

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum      28. 5. 2010

Podpis

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu Ing. Petru Zelenému, Ph.D., za odborné vedení a konzultace řešené problematiky a náměty při zpracování bakalářské práce. Dále děkuji panu Ing. Petru Kellerovi, Ph.D., za propůjčení sondy, poskytnuté informace a pomoc při výrobě přípravku.

# Obsah

Seznam použitých zkratek .....	7
1 Úvod .....	8
2 Cíle bakalářské práce .....	8
3 Druhy upínání .....	9
3.1 Kleštinový upínač .....	9
3.2 Morse kužel .....	9
3.3 Hydraulický upínač .....	10
3.4 Silově deformační upínač .....	11
3.5 Tepelně smrštitelné upínače .....	12
3.6 Frézovací trny .....	13
4 Tvary držáků nástrojů u systému s AVN .....	14
4.1 Držáky s kuželovou stopkou .....	14
4.2 Držáky s válcovou stopkou .....	15
5 Automatické výměny nástrojů .....	16
6 Seřizování a kalibrace .....	18
7 Možné metody kalibrace nástroje .....	18
7.1 Opření nástroje .....	18
7.2 Nastavení dotykem .....	19
7.3 Spínač a dioda .....	19
7.4 Výškoměr .....	20
7.5 Ustavovač nulové polohy mechanický .....	21
7.6 Ustavovač nulové polohy elektronický .....	22
7.7 Elektrický obvod pomocí konektoru „probe“ .....	23
7.8 Vyrobená sonda .....	24
7.9 Měřicí sonda TS27R .....	25
7.10 Měřicí sonda NC4 .....	26
7.11 Seřizovací automatické přístroje .....	27
8 Měření nekonvenčních metod .....	28
8.1 Postup měření metody „opření nástroje“ .....	29
8.2 Postup měření metody „nastavení dotykem“ .....	30
8.3 Postup měření metody „spínač a dioda“ a „vyrobená sonda“ .....	31
9 Porovnání a výběr vhodné metody .....	32
10 Závěr .....	37
Seznam použitých zdrojů .....	38
Seznam příloh .....	39

## **Seznam použitých zkratek**

AVN – automatická výměna nástrojů

3D – trojrozměrný

CNC – computer numeric control (počítačově číslicové řízení)

# 1 Úvod

V dnešní době velké konkurence se šetří snižováním výrobních nákladů, a to pomocí logistiky, řízení kvality výrobků, štíhlé výroby, automatizace a zkracování vedlejších časů a přemístění těchto vedlejších časů mimo stroje, a tím využití kapacity stroje na maximum tak, aby nebyl tracen čas na jinou činnost, než je potřeba. A vývoj jde stále dál a hledají se další místa, kde ušetřit a být tak lepší než konkurence a přitom stále zajišťovat stejnou, či dokonce lepší kvalitu výrobků a zajistit si tak věrnost zákazníků. Ovšem na druhé straně je zas potřeba mít kvalifikované pracovníky pro tyto oblasti, kde se dá ušetřit.

Při výrobě je důležité z ekonomického hlediska, aby nebyly vyráběny zmetky a zároveň stroje, či přístroje by měly být jednoduché na obsluhu, aby nebylo třeba pro obsluhu dělat speciální školení, či osvědčení, které znamená zase další investice patřící k pořízení stroje. Též jejich cena by neměla být vysoká, aby se jejich nákup vůbec vyplatil.

## 2 Cíle bakalářské práce

Cílem této bakalářské práce je najít nejvhodnější způsob a postup výměny nástroje a jeho kalibrace, tzn. z hlediska ekonomického i technického na školním prototypu CNC stroje při jednom zapnutí. Stroj byl navržený a sestavený panem Ing. Petrem Zeleným, Ph.D., v rámci disertační práce, na kterém se provádějí další bakalářské a diplomové práce.

Bude uveden rozbor možností nastavení nulové polohy obráběcího nástroje, tzn. dostupných komerčních možností a návrhů dalších možných řešení, porovnání výhod a nevýhod, což je například porovnání jednotlivých způsobů podle zaujmutí prostoru, náročnosti na výrobu, použitelnosti, ekonomické náročnosti a v neposlední řadě přesnosti.



### 3 Druhy upínání

Při upínání nástrojů se užívá více principů, a to například Morse kužel, kleštiny apod. Každá možnost má své výhody i nevýhody, ať již to je cena, či přesnost, nebo náročnost na výměnu nástroje. Nyní je proveden rozbor možností upínání.

#### 3.1 Kleštinový upínač

Tohoto systému upínání je užito na prototypu CNC stroje.

Kleštinový upínač slouží k velmi přesnému upnutí stopkových nástrojů. Hlavní nevýhodou je, že pro téměř každý průměr stopky je třeba odpovídající kleština. Další zápornou vlastností je zdlouhavá výměna, kdy se musí povolit převlečná matice, či ji úplně sundat, pokud chceme použít nástroj jiného průměru, vyjmout nástroj, popřípadě i kleštinu, vložit odpovídající kleštinu průměru použitého nástroje, vložit nástroj, našroubovat matici a dotáhnout.

Jelikož tvar stopky je válcovitý, tak při každém vyjmutí a opětovném osazení nástroje dochází k posunu konce nástroje, z čehož vyplývá, že musí být zjištěna jeho poloha (délka vysunuté části nástroje).

Mezi výhody těchto upínačů patří vysoká přesnost upnutí (až 0,003 mm při vyložení 4xD), vysoké upínací síly (krouticí moment až 3000 Nm) a dlouhá životnost. [3]



Obr. 1 – Kleština [2]

#### 3.2 Morse kužel

Morse kužel, vynalezený Stephenem A. Morseem, který je vidět na obr. 2, je velmi přesný způsob upínání nástroje v točivém stroji. Užívá se pro upnutí nástrojů, jako jsou vrtáky (v ručních či stolních vrtačkách nebo v soustruzích), výstružníky či frézy.

Spočívá ve vložení kuželového zakončení nástroje do stejně tvarovaného otvoru v upínací hlavě. [1]

Výhodami tohoto mechanismu upínání jsou snadná vyměnitelnost nástroje a to, že uchycený předmět je neustále udržován ve středu osy otáčení, čímž je umožněna velmi přesná práce, na rozdíl od nástrojů uchycených ve standardních sklíčidlech, která jsou připevněna pomocí závitu. [1]

Existuje více normovaných velikostí, přičemž určujícím rozměrem je průměr v nejširším místě kuželu daného nástroje v mm. [1]

V anglofonních zemích je označován jako Morse taper. [1]

Oproti upínání kleštinou, jako bylo použito u prototypu CNC stroje, je výhodou, že vysunutí nástroje při opakovaném vyjmutí a upnutí se nemění. Dále lze upnout větší počet různých průměrů.



Obr. 2 – Morse kužel [1]

### 3.3 *Hydraulický upínač*

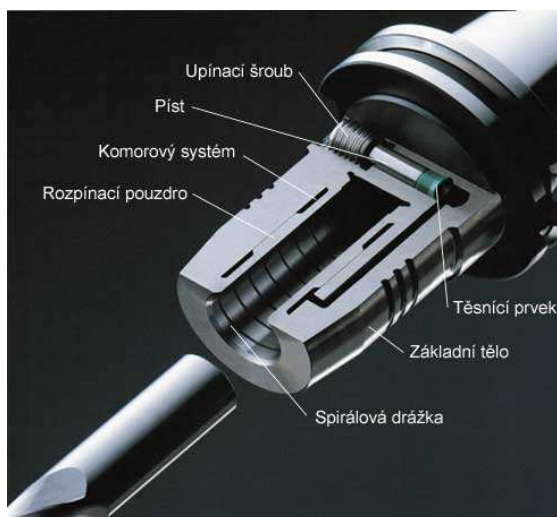
Hydraulické upínače využívají zcela jiného principu upnutí nástroje než konvenční upínače. Otáčením upínacího šroubu se vytváří rovnoměrný tlak hydraulického média uvnitř upínače. Tento tlak působí na upínací pouzdro, které nástroj pevně a přesně upne. Pro upnutí menších průměrů je možné použít redukční pouzdra. [3]

Výhodami hydraulických upínačů jsou přesné upnutí nástroje s opakovatelností  $\leq 0,003$  mm, tlumení vibrací, jednoduché ovládání bez dalších periferních zařízení, procesní bezpečnost a odolnost vůči vnějším znečišťujícím látkám. [3]

Oproti upínání kleštinou je výhoda v rychlé výměně, zde se ovšem musí používat redukce na menší průměry a ani zde není známa poloha konce nástroje, pokud se

pokaždé nedávají nástroje nadoraz, tudíž se musí vždy po výměně nástroje v upínači provádět kalibrace a seřízení.

U těchto systémů se většinou používá jeden upínač pro jeden nástroj, takže není nutné při výměně nástroje vyndávat nástroj, ale stačí vyměnit za jiný upínač s nástrojem, tím se velmi zrychlí výměna. Tyto upínače jsou vhodné do zásobníků s automatickou výměnou nástrojů.

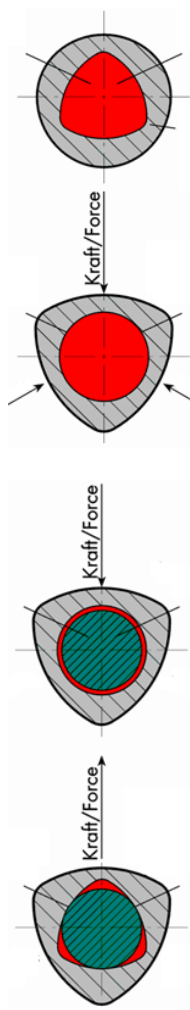


**Obr. 3 – Hydraulické upínání [4]**

### **3.4 Silově deformační upínač**

Princip polygonálního upínání patří k těm vysoce sofistikovaným principům, které jsou však překvapivě jednoduché. Princip upínání je v řezu schematicky znázorněn na obr. 4. Vlastní deformace upínače se děje pouze v oblasti pružné (elastické) deformace, při které nedochází k žádným molekulárním změnám v materiálu. Postup je tedy možno opakovat bez omezení počtu cyklů. [3]

Mezi výhody patří přesné upnutí nástroje ( $\leq 0,003$  mm), extrémně štíhlá konstrukce, tlumení vibrací, rychlá a jednoduchá výměna nástroje bez nutnosti ochlazování, procesní bezpečnost a v neposlední řadě relativně nízké pořizovací náklady. [3]



1. Unikátní geometrie: V uvolněném stavu je tvar upínací dutiny v řezu podobný zaoblenému trojúhelníku. [5]

2. Působení síly: Pomocí hydraulického zařízení působí síla ve 3 bodech (na vrcholech trojúhelníku). V důsledku síly dostane upínací dutina válcový tvar. [5]

3. Vložení stopky nástroje: Nyní může být vložena stopka nástroje. [5]

4. Upnutí nástroje: Uvolněním vnější síly z hydraulického zařízení se upínací dutina snaží vrátit zpět do původního tvaru a upne tak stopku nástroje. [5]

Obr. 4 – Silově deformační upínač [5]

### 3.5 Tepelně smršťitelné upínače

Základní princip tohoto systému je již velmi dlouho znám a využívá tepelné roztažnosti kovů při vysokých teplotách. Pomocí vysokofrekvenční indukční cívky se upínač velmi rychle ohřeje přesně na místě, kde se nástroj upíná. Po vsunutí nástroje se upínač musí nechat ochladit, a to buď přirozenou cestou (časově náročné), nebo nuceně (chladicí systém). Výsledkem procesu smrštění je téměř homogenní nástroj s vysokou přesností upnutí, velkými přenášenými krouticími momenty a velmi dobrým poměrem mezi radiální tuhostí a vnějším tvarem upínače. [3]



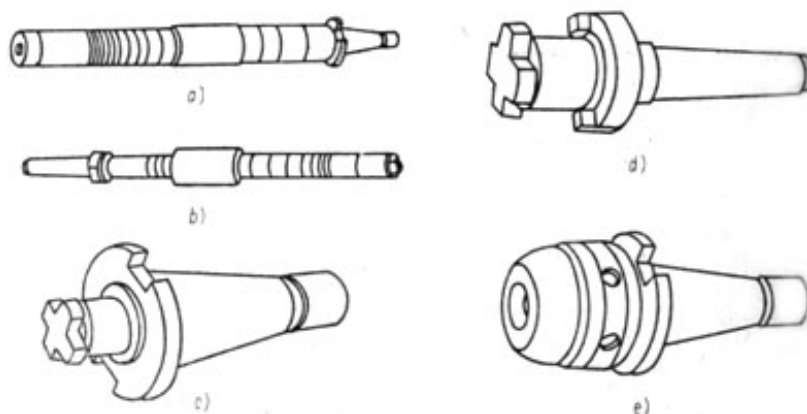
Obr. 5 – Tepelný upínač [3]

### 3.6 Frézovací trny

Pro upínání všech druhů nástrčných fréz na frézkách se používá frézovacích trnů. Frézovací trny mají na jednom konci kuželovou stopku, jíž se upínají do dutiny vřetena. Kužel metrický a Morse jsou samosvorné. Dále se krouticí moment přenáší pérem v drážce frézovacího trnu a drážce frézy.

Válcové frézy se upínají na dlouhé frézovací trny (obr. 6 – a, b). Poloha frézy se na trnu zajišťuje rozpěracími kroužky volně navlečenými na frézovacím trnu. Kromě rozpěracích kroužků je na trnu vodící pouzdro, které je součástí posuvného podpěrného ložiska umístěného na výsuvném ramenu vodorovné frézky. Čelní nástrčné frézy a frézovací hlavy se upínají krátkými upínacími trny, letmo upnutými do vřetena stroje (obr. 6 – c, d). Frézy s válcovou stopkou se upínají do vřetena frézky při použití sklíčidla s upínacím pouzdem (obr. 6 – e). [6]

U číslicově řízených fréz se používají pouze letmo upínané nástroje. Nástrojové držáky se upínají do vřetena za kuželovou nebo válcovou stopku. Poloha držáku ve vřetenu stroje je zajišťována nejčastěji kuličkovým nebo jiným uzávěrem. [6]



Obr. 6 – Frézovací trny [6]

## 4 Tvary držáků nástrojů u systému s AVN

Výhoda AVN je možnost seřízení nástrojů mimo stroj.

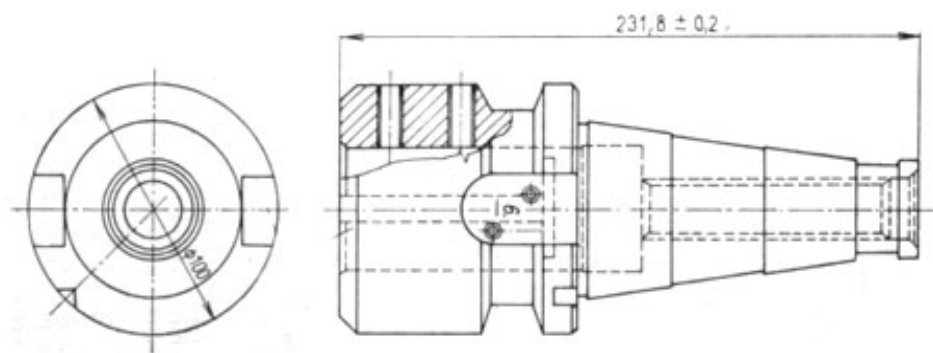
Držáky nástrojů pro systémy se skladovacím zásobníkem mají dva základní tvary, a to buď kuželový, nebo válcový.

### 4.1 Držáky s kuželovou stopkou

Velmi často užívaný držák nástrojů s hlavními upínacími plochami kuželovými je na obr. 7. Nástroj je v něm upínán na válcovou plochu pomocí šroubů. Krouticí moment držáku se na nástroj přenáší perem v drážce 1; zápich 2 na konci kuželové části držáku slouží k zachycení držáku; drážka 3 je určena pro uchycení držáku manipulátorem; do drážek 4 zapadnou unášecí kameny vřetena, kterými se přenáší krouticí moment z vřetena na držák; v místech 5 a 6 nebo i jinde na držáku může být umístěno označení nástroje v určitém kódu. [7]

Dosahuje se vysoké tuhosti upnutí. Krouticí momenty přenášené z vřetena na držák mohou být také velké, protože na čele vřetena bývají zpravidla umístěny dva unášecí kameny, které zapadají do drážek v držáku. [7]

Nevýhodou však je náročná přesná výroba kuželových ploch držáku. Nepříznivá je také skutečnost, že kuželové stopky se jen obtížně udržují v čistotě. [7]



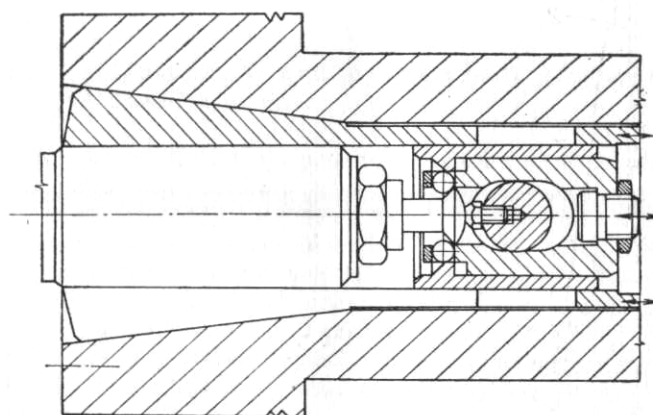
Obr. 7 - Držák nástrojů s kuželovou stopkou ISO 50 [7]

## 4.2 Držáky s válcovou stopkou

Příklad držáku s válcovou upínací plochou je na obr. 8 i s částí upínacího zařízení a vřetena. Jedná se o držák upínaný kleštinou. Kromě upnutí kleštinou je držák nástroje v kleštině uzamčen pomocí kuličkového uzávěru ovládaného samostatným táhlem. [7]

Výhodou těchto držáků je, že se snadno udrží v čistotě upínací plochy, a tak se dosáhne i vysoké přesnosti upínání (radiální házení držáku bývá 0,004 mm). Při použití držáků s válcovou stopkou není nutné při výměně nástroje ve vřetenu vždy vřeteno přesně polohovat. [7]

Nedostatkem těchto držáků je menší tuhost upnutí ve vřetenu. Kleština je hlavní příčinou tohoto snížení tuhosti. Tento nedostatek však není závažný, protože u obráběcích center většinou nepracuje velkými řeznými silami, aby se dosáhlo vysoké přesnosti práce (menší silové a hlavně tepelné deformace – menší oteplování obrobku). [7]



Obr. 8 – Držák nástrojů s válcovou stopkou v upínacím zařízení [7]

## 5 Automatické výměny nástrojů

V počátcích strojírenské výroby se při zhotovování určité součásti postupovalo tak, že se při obrábění obrobku na jednom stroji (pro každý výrobní způsob je zvláštní stroj) vyměňovaly nástroje ručně. V určité fázi výroby se přenesl obrobek na jiný stroj, pracující jiným výrobním způsobem, kde se opět měnily nástroje ručně. Tak se postupovalo, až byl obrobek hotov. V určitých fázích to byl způsob „nástroj jde za obrobkem“ (např. výměna nožů na soustruhu) a v jiných se zase pracovalo principem „obrobek jde za nástrojem“ (např. při přemístění obrobku ze soustruhu na frézku apod.).

Postupem času se oba základní principy, a tím i princip kombinovaný, vyvíjely – mechanizovaly, a pak automatizovaly. Tak vznikly plně automatizované výrobní principy „nástroj jde za obrobkem“, „obrobek jde za nástrojem“ a princip kombinovaný. [7]

Dnes typickým představitelem principu „obrobek jde za nástrojem“ jsou automatické linky. Zde obrobek samočinně prochází od jedné pracovní jednotky ke druhé, přičemž každá jednotka na obrobku vykoná jednu nebo více operací, avšak nástroje zůstávají stále ve svých pracovních vřetenech. [7]

U principu „nástroj jde za obrobkem“ automatizací vznikly tzv. automaty, u kterých se poprvé setkáváme s realizací pojmu „automatická výměna nástrojů v pravém slova smyslu. Tato výměna zde byla realizována převážně pomocí revolverových hlav a řízena vačkami nebo narážkami. Jedná se obvykle o výměnu asi 5 až 15 nástrojů. [7]

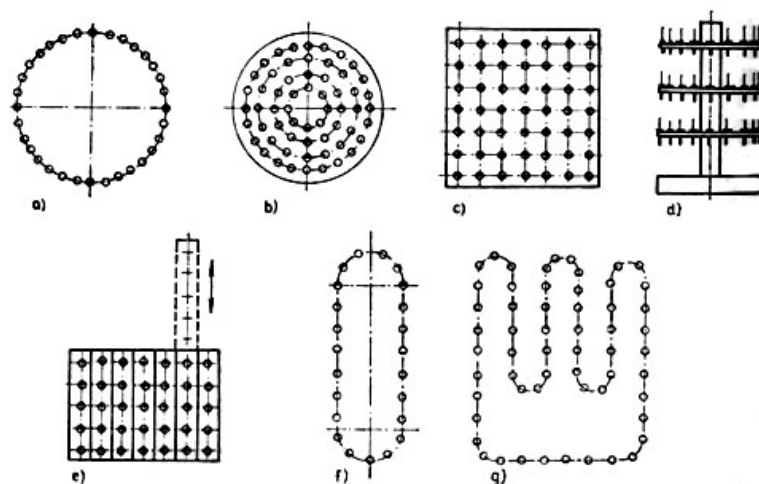
V dalším vývoji vznikají číslicově řízené obráběcí stroje, jejichž nejdokonalejším představitelem jsou dnes tzv. obráběcí centra, což jsou stroje schopné na jedno upnutí obrobku automaticky vykonat velké množství operací různými výrobními způsoby (např. operace soustružnické, vrtací a frézovací). [7]

Obráběcí centra mívají zásobníky na nástroje. Dosahují kapacity až 150 nástrojů. Výměna nástrojů se provádí jedním nebo i více manipulátory. Zásobníky bývají řešeny jako bubnové (viz obr. 9a), kotoučové (obr. 9b), regálové (obr. 9c, d); segmentové (obr. 9e), popřípadě řetězové (obr. 9f, g). Pro svou značnou hmotnost a rozměry se umísťují nejčastěji mimo stroj na zvláštním stojanu, takže zvětšují půdorysnou plochu stroje. [7]

Další skladovací možností je revolverová hlava, která nemá takovou nástrojovou kapacitu, zato zabírá daleko méně prostoru. U tohoto způsobu je výměna nástroje

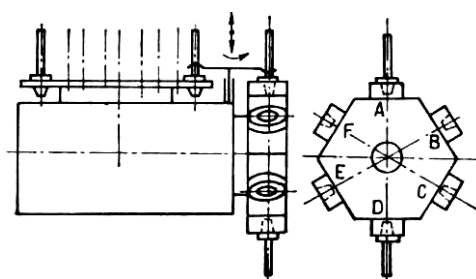


rychlejší. Nevýhoda spočívá v omezené manipulaci s hlavou, která je snížena velikostí upnutých právě nepoužívaných nástrojů. [7]



**Obr. 9 – Schémata často používaných velkoobjemových zásobníků [7]**

Nebo lze dělat kombinace. Například kombinace skladovacího zásobníku, podavače a revolverové hlavy, čímž se urychlí výměna nástroje. Příklad takového uspořádání je vidět na obr. 10. [7]



**Obr. 10 – Kombinovaný systém AVN [7]**

## 6 Seřizování a kalibrace

U všech předchozích systémů upínání, vyjma kleštinového upínače, se s výhodou využívají zásobníky na upínače s nástroji. Jejich použití zkracuje vedlejší časy, automatizuje obrábění, a to vede k větší produktivitě. Dnes je to již nezbytnost mít automatickou výměnu nástrojů (AVN). Ovšem pokud máme AVN, tak další nezbytností je mít stroj na seřizování a kalibraci.

Stroje na seřizování se využívá u upínačů, kde v podstatě každý nástroj má svůj vlastní upínač. Navíc se dělá ještě kódování pro rozpoznání a načtení informací, takže nástroj s upínačem nemusí být vracen do zásobníku pokaždé na jedno a to samé místo.

Což ovšem není případ kleštinového upínače, z čehož pramení námět této bakalářské práce vyřešit výměnu a seřízení nástroje.

## 7 Možné metody kalibrace nástroje

Metod kalibrace lze najít více a lze je dělit například dle stupně automatizace, provedení mechanické, elektronické, kontaktní, bezkontaktní atd.

Jednotlivá konvenční i navrhovaná vlastní řešení jsou seřazena od nejjednoduššího způsobu až po nejsofistikovanější. S důmyslností měření rostou i náklady na pořízení.

U zařízení, která se vyndávají, je důležité je při každém měření dávat na to samé místo kvůli možnosti vzniku nepřesnosti v závislosti na souřadnicích X a Y. Všechna zařízení je třeba vyndávat z pracovního prostoru, kvůli možnosti poškození třískami, kromě sond, které jsou na mechanický vliv třísek a kapalin uzpůsobeny.

### 7.1 Opření nástroje

První metoda, která se jeví jako jedna z možných, jak nastavit vhodnou délku nástroje pro opakované obrábění, je vsunout nástroj do kleštiny, poté přijet s vřetenem tak, aby se nástroj opřel o podložku a kleština se dotáhne. Pro vždy stejné nastavení je třeba použít pokaždé stejnou podložku.

Celý postup kalibrace by se provedl tak, že po opření a dotáhnutí převlečné matice se u prvního nástroje opíše souřadnice Z. Po výměně nástroje (opření a dotáhnutí) je třeba nastavit v řídicím systému souřadnici Z stejnou jako u prvního nástroje.

Nevýhoda spočívá v tom, že při dotahování převlečné matice se kleština dále vtahuje do vřeteníku a tím se posouvá i nástroj a vzniká nepřesnost, která zřejmě není vždy stejná.

Další nevýhoda by jistě spočívala v nutnosti držet nástroj v ruce, takže by bylo vhodné vyrobit jednoduchý držák, např. ze tří hranolů a tří pružin, které by působily na nástroj ze tří stran a držely by tak nástroj. Hranoly by byly přidělané k podložce, kterou by se nastavovala délka. Přesnost samotného způsobu je ovlivněna přesností stroje.

## **7.2 *Nastavení dotykem***

Tato metoda je doposud používaná a velmi závisí na přesnosti obsluhy a odhadu.

Spočívá v pomalém přibližování se k obrobené ploše od předchozího nástroje tak, aby vedlejší hřbet právě užívaného nástroje v dané rovině byl pokud možno ve stejné rovině k dané ploše jako předchozí nástroj. Jinak řečeno, nástroj se přibližuje k ploše tak dlouho, dokud se jí nedotkne. Což mívá za následek většinou přejetí roviny plochy a vzniku důlku v materiálu. Je celkem poměrně hodně vidět nepřesnost výměny nástroje. Další postup kalibrace (nastavení souřadnice Z) je obdobný postupu z kapitoly 7.1.

Nevýhodou je v tomto případě značné ovlivnění odhadem obsluhy a že přesnost samotného způsobu je ovlivněna přesností stroje. Navíc dochází ke sčítání chyb při kalibraci druhého a dalšího použitého nástroje od obrobené plochy, jelikož požadovaná odebraná vrstva materiálu nemusí odpovídat skutečně odebrané vrstvě vlivem přesnosti stroje.

## **7.3 *Spínač a dioda***

Je to ekvivalent ke komerčnímu elektronickému ustavovači nulové polohy z kapitoly 7.6., či k vyrobené sondě z kapitoly 7.7.

U této možnosti je snaha snížit vliv odhadu obsluhy na polohu nástroje, jelikož u předchozích metod je obtížné sledovat, zda se již nástroj dotknul obrobku či nikoliv, a to jak z hlediska ergonomie obsluhy, kdy osoba musí být sehnuta, tak z hlediska kvality zraku a osvětlení.

Toto jednoduché zařízení by sestávalo ze spínače, napájení a signalizační led diody. Měření by probíhalo tak, že by se přibližoval malou rychlostí nástroj ke spínači, po sepnutí spínače by se rozsvítila dioda a obsluha by zastavila posun nástroje,

respektive vřetena ve směru Z v okamžiku, kdy se dioda rozsvítí. Další postup kalibrace (nastavení souřadnice Z) je obdobný postupu z kapitoly 7.1.

Nevýhoda je ve vlivu obsluhy na přesnost, ale dá se jistě odhadovat, že tato nepřesnost nebude tak značná jako u předchozích případů. Přesnost je dále ovlivněna krokováním motoru a tím posunem ve směru Z, přesností spínače. Další nevýhoda je zdoluhavé hledání polohy rozsvícení diody.

Pro zpřesnění lze použít dalších metod pro signalizaci led diodou, jako například indukční snímač, infrazávora, magnetické relé apod.

## **7.4 Výškoměr**

Další možností je měřit délku nástroje výškoměrem. To lze provést buď digitálně, nebo analogově. Digitální je přesnější než analogový, ale v řešeném případě by i tak postačil analogový.

Výškoměr je ovšem uzpůsobený pro měření shora, čímž by se musel vyrobit nástavec na měřicí plochu, aby se dalo měřit zespoda.

U prvního nástroje je třeba opsat měřenou výšku na výškoměru a souřadnici Z z řídicího systému. Po výměně nástroje se musí výškoměr posunout směrem nahoru a posouváním vřetena ve směru  $-Z$  nastavit stejnou výšku na výškoměru jako u předchozího nástroje. Poté nastavit v řídicím systému stejnou souřadnici Z jako u předchozího nástroje.

Další postup kalibrace (nastavení souřadnice Z) je obdobný postupu z kapitoly 7.1

Přesnost analogového výškoměru činí 0,02 mm a cena 2265Kč. [15]

Výhoda je v jednoduchosti zařízení.

Nevýhodou je nutnost vyrobení nástavce a při výšce 300 mm již značná robustnost. Dále, že se celá kalibrace provádí ručně, nic se nedělá automaticky, je třeba nastavit po výměně nástroje na výškoměru stejnou polohu (hodnotu na číselníku), jako u předchozího nástroje a souřadnici Z v řídicím systému. Přesnost samotné kalibrace dále závisí na obsluze.



Obr. 11 – Analogový výškoměr [15]

### 7.5 *Ustavovač nulové polohy mechanický*

Ustavovač nulové polohy je nejjednodušší a nejlevnější komerční možnost, jak relativně přesně nastavit délku nástroje. Ovšem takto lze nastavit opravdu jen délka. Provedení je buď elektronické, nebo mechanické.

Pracuje na stejném principu jako úchylkoměr, který byl použit k měření s přesností 0,001 mm. Oproti úchylkoměru je výhoda ustavovače v tom, že je lépe chráněn před třískami a zabírá méně prostoru.

Přesnost najetí a opakování u mechanického provedení je 0,015 mm a je přesnější i levnější než provedení elektronické s displayem. [12]

Cena tohoto příslušenství činí 1290 Kč. [12]

Postup kalibrace je obdobný jako v kapitole 7.4.

Výhoda této kalibrace spočívá v okamžitém použití, což znamená, že není třeba žádné instalace, programování, kalibrování. Sice všechny úkony provádí obsluha, ale i přes tuto skutečnost je to velmi přesný způsob kalibrace, kde poměr přesnosti a ceny je velmi příznivý pro naše podmínky.

Nevýhody jsou stejné jako v předešlé kapitole 7.4. Tato možnost se jeví velmi vhodná jak z hlediska finančního, tak přesností.



Obr. 12 – Mechanický ustavovač [12]

### 7.6 *Ustavovač nulové polohy elektronický*

Tento ustavovač, který je na obr. 13, neukazuje aktuální změnu polohu měřicího válečku, nýbrž pomocí led diody signalizuje jednu definovanou polohu podobně jako v případě „spínače se žárovkou“, či podobně jako v další podkapitole „vyrobená sonda“.

Po dosažení jmenovité hodnoty dojde k rozsvícení LED diod v obvodovém prstenci. Seřízení nástroje se provádí jeho pomalým sjížděním k ustavovači a jakmile se ustavovač rozsvítí, je dosaženo hodnoty 50,000 mm. [12] Po dosažení jmenovité hodnoty se opíše z řídicího systému souřadnice Z. Po výměně nástroje je třeba dosáhnout na ustavovači opět jmenovité hodnoty a do řídicího systému zapsat stejnou souřadnici Z jako u předchozího nástroje.

Cena činí 2490 Kč. [12]

Přesnost je 0,02 mm. [12]

Výhody i nevýhody jsou v podstatě stejné jako v předchozím případě. Zde ale navíc přibývá k nevýhodám zdlouhavé hledání jmenovité hodnoty.



Obr. 13 – Elektronický ustavovač [12]

### 7.7 *Elektrický obvod pomocí konektoru „probe“*

Tato možnost spočívá ve vytvoření elektrického obvodu, který se sepne při kontaktu nástroje a kalibrované podložky, a tím se vyšle signál do konektoru „probe“ v řídicím systému Acramatic 2100, že má zastavit pohyb ve směru Z. Dále by se po sepnutí nastavila souřadnice Z stejná, jako by byla tloušťka přípravku. Bylo by možné udělat program, který by celý posun ve směru osy Z, zastavení a nastavení souřadnice Z řídil sám.

Pokud by se použila tato metoda, pak je možné vylepšit podložku tak, že by zároveň sloužila i jako stojánek pro nástroje.

Přivedení napětí na nástroj by spočívalo buď v připnutí svorky (tzv. krokodýl) na nástroj, nebo by bylo možné změřit elektrický odpor mezi stolem a nástrojem. Pokud by nebyl velký, pak by šlo rozdělit podložku na dvě nevodivě spojené části. Na spodní část ležící na stole by bylo přivedeno napětí, které by procházelo konstrukcí stroje až do nástroje, druhá část by fungovala jako v předchozím případě. Tím by se odstranilo připínání svorky na nástroj a obsluha by se zjednodušila.

Svorky by se daly též odstranit použitím například piezoelektrického spínače, který dosahuje velkých přesností při spínání, ale je zde třeba použít zesilovače.

Další hledisko provedení jistě je, zda podložku neudělat pohyblivou (odpruženou) kvůli přejetí nástroje tak, aby se nezničil nástroj. Ovšem záleží na přibližovací rychlosti, pokud by byla velmi malá, pak toto opatření zřejmě nemá smysl.

Dále by bylo vhodné automatizovat tento proces kvůli přesnosti měření a spojit předchozí dvě možnosti s tím, že kvůli bezpečnosti (může se stát, že kabely budou někde porušeny) by byl pod spínačem, který se pohybuje, další spínač, který by sepnul kontakt v případě přejetí mezní polohy. Vyšší bezpečnosti se dá dosáhnout použitím obrácené logiky. To znamená, že by se ručně sepnul spínač najetím nástroje na spínač a spustil se pohyb směrem nahoru. V momentě, kdy spínač není ve stavu „sepnuto“, se pomocí invertujícího zařízení vyšle do řídicího systému signál „sepnuto“ a posuv je zastaven.

Dle internetových diskuzí [17] uživatelé používající tuto metodu dosahují přesnosti opakovatelnosti 0,02 mm, což je velmi dobrý výsledek a toto řešení již stojí jistě za úvahu, jelikož by tato možnost mohla mít velmi dobrý poměr mezi přesností a cenou.

Výhoda tkví v možné automatizaci, čímž by kalibrace byla rychlá. Zaujímaný prostor by při jednoduchém řešení byl minimální.

## **7.8 Vyrobená sonda**

Tato a následující metody již navazují na předchozí kapitolu 7.7 a využívají konektoru „probe“. Sonda by se dala buď zapojit do konektoru pro sondu u řídicího systému, nebo ji lze využívat stejně jako v případě elektronické ustavovače z kapitoly 7.6.

Na obr. 15 je schéma sondy vyrobené na katedře výrobních systémů dle známého principu tří válečků a šesti kuliček, které tvoří společně elektrický obvod. Pokud je tento obvod pohybem přerušen, pak dojde k signalizaci.

Měření probíhá tak, že pokud se nástroj nedotýká sondy, pak led dioda svítí zeleně. V okamžiku doteku nástroje se sondou se led dioda rozsvítí červeně a ozve se pískot.

Přesnost nebyla známa a bylo ji tedy třeba změřit, jak je popsáno v kapitole 8.3.

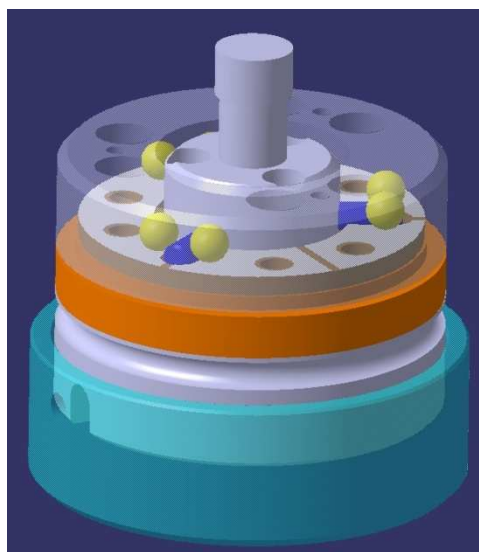
Výhodou je, že tato sonda je již na katedře vyrobená, tudíž jsou náklady na pořízení nulové.



Kalibrování se provádí přímo na CNC stroji, čímž se zkracuje produktivní čas. Dále zabírá prostor pro obrábění. Je třeba sondu napájet vnějším zdrojem.



Obr. 14 – Vyrobená sonda



Obr. 15 – Model vyrobené sondy

## 7.9 Měřicí sonda TS27R

Pokud na výrobce netlačí čas, nebo pokud nemá dostatek financí, či by externí seřizovací přístroj byl zbytečným přepychem, pak postačí pro kalibraci měřicí sonda, což je daleko levnější možnost.

Obecně sondy eliminují potřebu náročných seřizovacích přístrojů, drahých upínačů a časově náročné ustavování pomocí např. číselníkového úchylkoměru. Právě nástrojová sonda ušetří až 90 % času nutného pro manuální přípravu nástrojů. Lze měřit délku stojícího osového nástroje, např. vrtáku, závitníku, délku rotujícího nástroje, např. čelních fréz, nebo měřit průměr rotujícího nástroje, např. fréz, vrtacích tyčí apod. Softwarové měřicí cykly automaticky kompenzují aktuální délku a průměr nástroje a tyto sondy mohou detekovat i poškození nástroje. [9]

Sonda může být kontaktní, či bezkontaktní (optická). Samotné měření se provádí přímo na CNC stroji, čímž se zkracuje produktivní čas.

V obdržené cenové nabídce na sondu TS27R je vidět cena za samotnou sondu, která činí 32440 Kč. Další dvě položky jsou ochranné vedení na kabeláž za, oproti ostatním položkám, zanedbatelnou částku. Poslední položka je instalace a zaškolení

obsluhy, která má značný vliv na celkovou sumu. Celková částka je tedy 49 129,89 Kč. Nabídka je k vidění v příloze č. 1.

Sonda umožňuje měření délky nástroje, jeho průměru a kontrolu poškození nástroje. Měřit lze i rotující nástroje. Vyžaduje interface MI8 k převedení signálu sondy na signál přijatelný pro CNC řídicí systém. [13]

Sonda vyžaduje minimální údržbu a je navržena jako fixně montovaná součást obráběcích center CNC, kde je vystavena působení horkých třísek a chladicí emulze. Přesnost tohoto zařízení je 1  $\mu\text{m}$ . [13]

Výhoda tohoto zařízení spočívá ve snadné obsluze a rychlém měření.

Nevýhodou je, že pevným upnutím sondy na pracovní stůl se zmenší již tak malý pracovní prostor. Dále je třeba mít vhodný software pro podporu sondy.

Zde zřejmě cena opět odpovídá přesnosti, vlastnostem a snadné obsluze, ale v našich podmínkách je tato přesnost a rychlost měření asi zbytečným luxusem, jelikož samotná výměna nástroje trvá značnou dobu.



Obr. 16 – Měřicí sonda TS27R firmy Renishaw [13]

### **7.10 Měřicí sonda NC4**

U sondy NC4 měření probíhá bezkontaktně na základě optického snímání. Sonda měří jak délku a průměr nástroje, tak hlídá poškození nástroje. Sonda je buď v odděleném, nebo kompaktním stavu, což znamená, že sonda může být upnuta mimo pracovní plochu stroje, čímž se tato plocha nezmenší.

Zde je třeba použít jeden M kód a opět software, který, jako v předchozím případě, není firmou Renishaw dodáván. Přesnost je stejně jako v předchozím případě 1  $\mu\text{m}$ .

V obdržené cenové nabídce je první položka samotná sonda NC4 za 151 818 Kč. Druhá a třetí položka je ochranné vedení. Poslední neopomenutelná položka je opět instalace za 15 675 Kč. Celková suma tedy činí 168 667,85 Kč. Cenová nabídka je v příloze č. 2.

Zde je výhoda též snadná obsluha, rychlé a velmi přesné měření.

Nevýhoda, kromě ceny, žádná shledána nebyla (krom softwaru), jelikož sonda může být připnuta na stůl tak, aby nezasahovala do pracovní plochy stroje.



Obr. 17 – sonda NC4 [14]

### ***7.11 Seřizovací automatické přístroje***

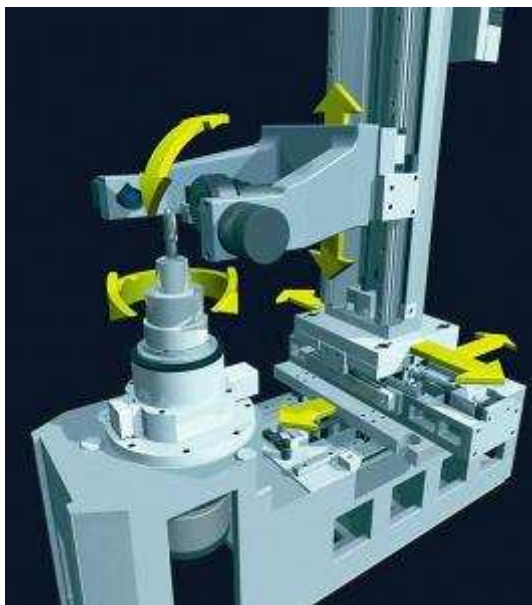
Podle většiny odborníků je již příprava nástrojů pomocí přístrojů s kamerovým systémem neodmyslitelnou součástí moderní výroby. [8]

Například U přístroje Zoller Genius se stará o optimální automatické měření celkem pět CNC řízených os umožňujících proměření více než 70 parametrů nástroje. Nutným předpokladem je perfektně promyšlená a optimálně sladěná kombinace pohonných systémů se specializovaným softwarem a kamerovým zpracováním obrazu Pilot 3.0. Vysoce přesné upínací vřeteno A.C.E. s originálním systémem výměny držáků a s přesností výměny 0,001 mm je dalším důležitým základem pro přesné měření a seřizování nástrojů. [8]

Takovýto přístroj nezvládá pouze měření délky nástroje a jeho průměru, ale také navíc měření délek stupňů a průsečíků u stupňovitých nástrojů, zjišťování obvodového a čelního házení frézovacích hlav, měření rádiusů a úhlů kulových a zahlubovacích fréz, seřizování a měření výstružníků apod. [8]

Výhodou je přemístění časů na seřízení mimo CNC a zvýšení tak produktivity stroje. Dále jsou tato zařízení velmi přesná a téměř bezobslužná.

Toto zařízení je pro zadaný případ nevhodné, jelikož nástroje se upínají do kleštiny, která se nedá odejmout a umístit tak do seřizovacího přístroje.



Obr. 18 – 5 CNC řízených os u přístroje Zoller Genius [8]

## 8 Měření nekonvenčních metod

Před výběrem vhodné metody je zapotřebí určit přesnost u nekonvenčních navrhovaných způsobů.

Opakovaná přesnost výměny nástrojů je charakterizována střední směrodatnou odchylkou, která se počítá dle vztahu (1)

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}, \quad (1)$$

kde  $x_i$  jsou hodnoty, kterých může náhodná veličina nabývat a  $\bar{x}$  je střední hodnota veličiny  $x$ . [16]

Aby byla zmenšena chyba měření, změří se každá metoda desetkrát.

Z důvodu nepřesnosti stroje samotného je třeba provádět měření vždy ve stejných souřadnicích ve směru X a Y, tím bude přesnost měření ovlivněna nepřesností stroje pouze ve směru Z. Měření hodnot ve směru Z probíhalo pomocí úchylkoměru s přesností 0,001 mm. Tato přesnost je vzhledem k přesnosti stroje dostačující.

Z měřených hodnot bylo třeba vypočítat směrodatnou odchylku. Přehled výsledků měření je v kapitole 9.

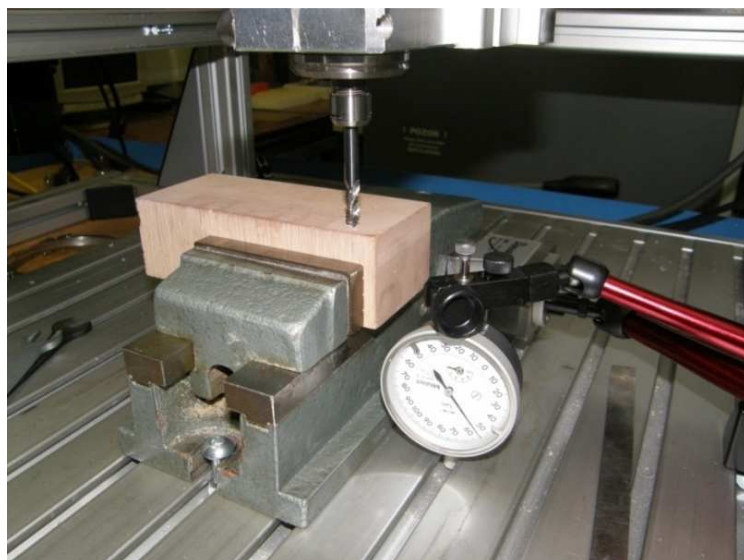
### **8.1    *Postup měření metody „opření nástroje“***

Před měřením bylo třeba na pracovní stůl upevnit úchylkoměr a referenční kus materiálu do svěráku, o který se nástroj opíral. Úchylkoměr byl upnut tak, aby se muselo pohybovat vřetenem pouze ve směru X. Dále dotek úchylkoměru byl přibližně o 3 mm výše než referenční materiál ve směru Z. Samotné měření je vidět na obr. 19.

Tabulky s naměřenými hodnotami a výpočtem jsou v příloze č. 3.

#### **Postup měření:**

1. Najet vřetenem s nástrojem do vybrané polohy X a Y nad kus materiálu. Tyto souřadnice je třeba dodržovat stejné u všech následujících měření.
2. Najet vřetenem ve směru Z tak, aby nástroj byl téměř opřen o kus materiálu.
3. Povolit převlečnou matici.
4. Zasunout nástroj do kleštiny, opět vysunout a opřít o materiál.
5. Utáhnout matici.
6. Stlačit dotek úchylkoměru.
7. Najet nad úchylkoměr (vždy do stejné souřadnice X). Hodnoty Z a Y zůstávají stejné.
8. Pustit dotek úchylkoměru.
9. Odečíst hodnotu z číselníku úchylkoměru.
10. Hodnotu zapsat do tabulky.
11. Najet nad materiál posunem ve směru X do stejné polohy jako v bodu 1.
12. Opakovat kroky 3 – 12 pro další měření.



Obr. 19 –Měření metody „opření nástroje“

## 8.2 *Postup měření metody „nastavení dotykem“*

U této metody bylo třeba připevnit do svěráku na stůl materiál, např. umělé dřevo tak, aby dále volené souřadnice X a Y byly někde na jeho ploše. Zde nelze vždy najet frézou na samé místo, jelikož se materiál trochu obrobí, je třeba materiál posouvat po každém měření. Sice se takto zanáší chyba vlivem nerovnosti materiálu, nicméně tato chyba je zanesená i při skutečném obrábění, takže je tímto toto měření objektivní. Obrobení materiálu je zřejmé na obr. 20.

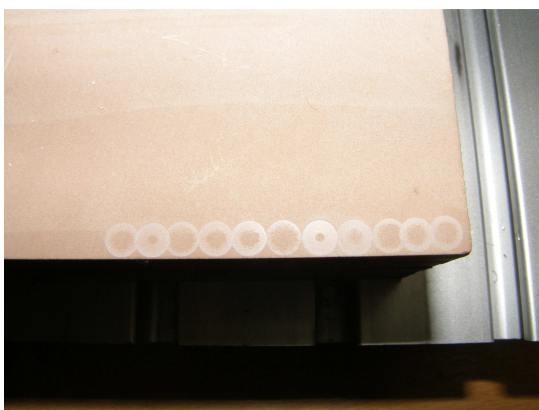
Bylo třeba připevnit úchylkoměr a spustit otáčení vřetene. Úchylkoměr byl upevněn tak, aby se dotýkal dotykem kolmo k držáku pouzdra motoru vřetena ve směru Z, viz obr. 21.

Tabulky s naměřenými hodnotami a výpočtem jsou v příloze č. 3.

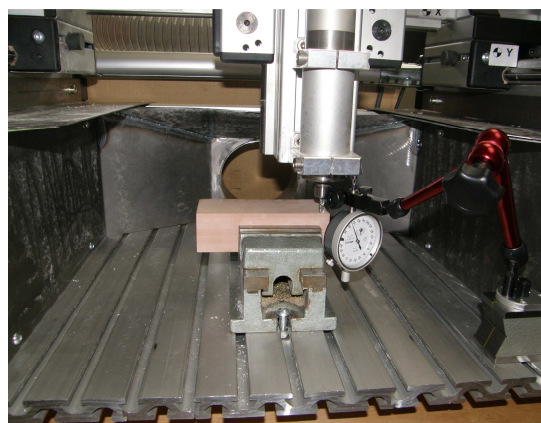
### **Postup měření:**

1. Najet vřetenem s nástrojem do vybrané polohy X a Y.
2. Manuálně pohybovat vřetenem ve směru Z tak, aby se nástroj dotknul obrobku a pokusit se zastavit ve chvíli, kdy dojde k dotyku (obrobení).
3. Z úchylkoměru odečíst hodnotu a zapsat do tabulky.
4. Odjet nástrojem od materiálu ve směru +Z.
5. Povolit svěrák, posunout materiál.
6. Opakovat kroky 2 – 6 pro další měření.





Obr. 20 – Obrobení materiálu



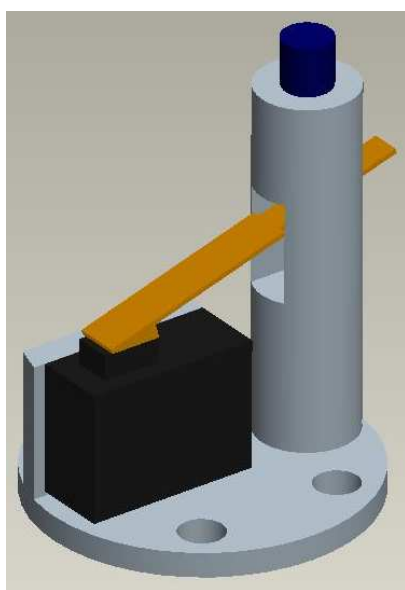
Obr. 21 – Měření metody „nastavení dotykem“

### 8.3 *Postup měření metody „spínač a dioda“ a „vyrobená sonda“*

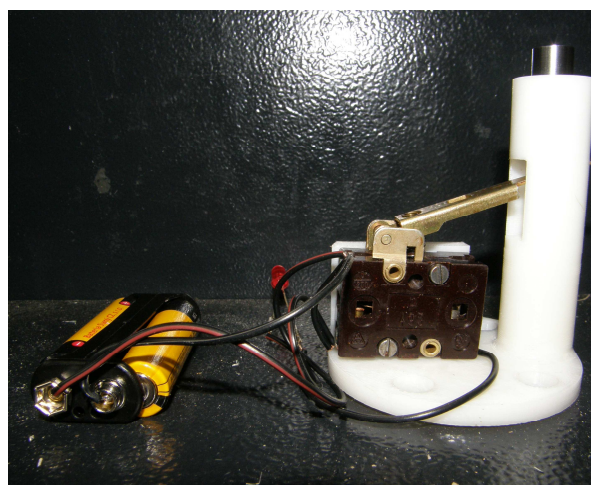
Před samotným měřením bylo třeba upnout přípravek a úchylkoměr na pracovní stůl. Úchylkoměr byl upevněn tak, aby se dotýkal dotykem kolmo k držáku pouzdra motoru vřetena ve směru Z.

Pro měření byl navržen, vyroben a sestaven přípravek, který je vidět na obr. 22 a obr. 23. Šedá plastová část na obr. 22 byla vyrobena z plastu technologií rapid prototyping. Na obr. 25 je vidět měření „spínače a sondy“, na obr. 24 je měření „vyrobené sondy“.

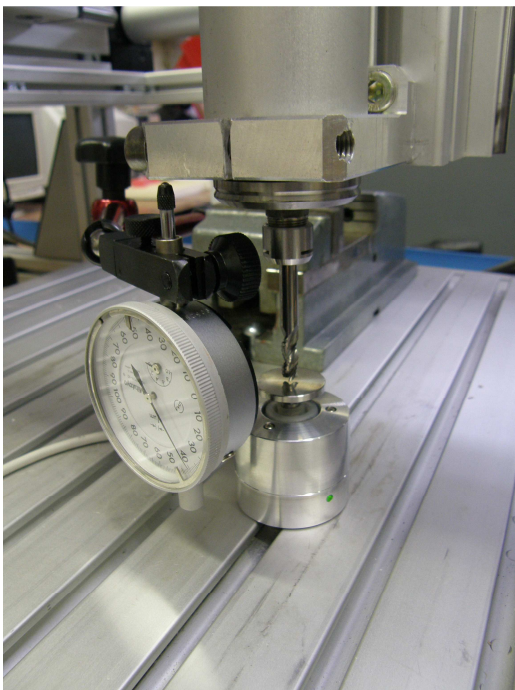
Tabulky s naměřenými hodnotami a výpočtem jsou v příloze č. 3.



Obr. 22 – Model přípravku



Obr. 23 – Zapojený a sestavený přípravek



Obr. 24 – Měření „vyrobené sondy“



Obr. 25 – Měření „spínače a diody“

#### Postup měření:

1. Najet vřetenem s nástrojem pokud možno nad střed plošky u měřicího válečku a souřadnice X a Y zadávat stejné u dalších měření.
2. Přiblížit se nástrojem k měřicímu válečku a pomalu jím krokovaním po 0,001 mm pohybovat tak dlouho, dokud se led dioda nerozsvítí červeně.
3. Odečíst hodnotu z číselníku úchylkoměru. Hodnotu zapsat do tabulky.
4. Vzdálit se od přípravku (sondy) ve směru Z.
5. Opakovat kroky 2–5.

## 9 Porovnání a výběr vhodné metody

Při porovnávání přesností navrhovaných metod pomocí grafu 1 je vidět, že rozsah přesností je od 0,001 mm (nejpříznivější hodnota), do 0,0598 mm.

Nejhorší hodnoty 0,0598 mm dosahuje metoda „opření nástroje“, což bylo předpokládáno. Tento způsob tedy není vhodný.

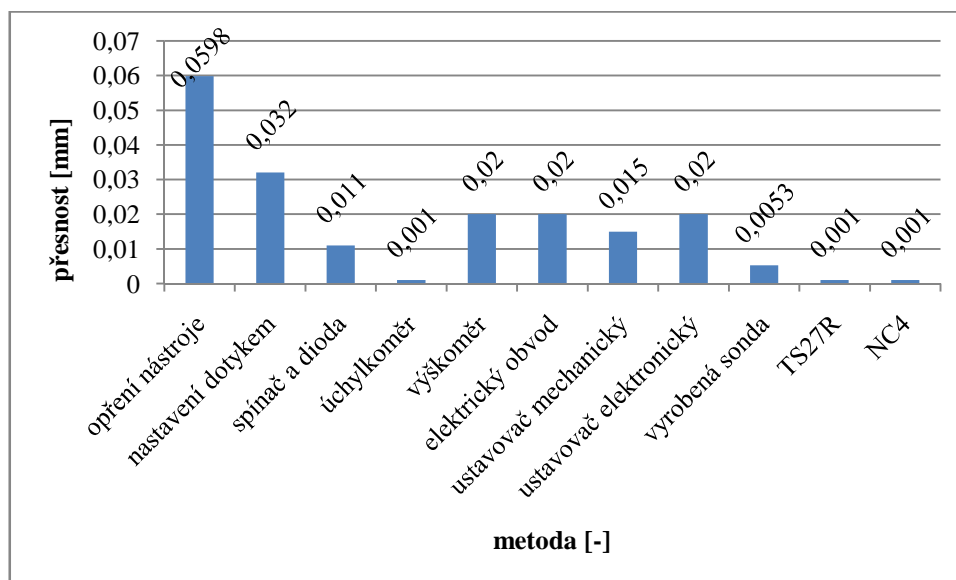
Postup „nastavení dotykem“ je již při přesnosti stroje 0,1 mm vyhovující.

Za povšimnutí stojí metoda „spínač a dioda“, kde byl použit obyčejný mikrosplínač a přesto se dosáhlo uspokojivé přesnosti 0,011 mm.



Přesnost 0,0053 mm „vyrobené sondy“ je ovlivněna obsluhou, tudíž při vyloučení jednoho extrému dosahuje přesnosti 0,001 mm. Přesnost by se dala zjistit přesněji na stroji s jemnějším krokováním, jelikož prototyp CNC stroje má krokování 0,001 mm.

Sondy TS27R, NC4, „vyrobená sonda“ a použitý úchylkoměr jsou pro řešený stroj zbytečně přesné, jelikož stroj dosahuje přesnosti 0,1 mm.



**Graf 1 – Porovnání přesností jednotlivých metod**

Dalším významným hlediskem jsou pořizovací náklady. U zařízení, která jsou na katedře k dispozici, jsou brány náklady jako nulové. Přehled pořizovacích nákladů je vyjádřen pomocí grafu 2. Osa nákladů je v logaritmickém měřítku.

U metod „opření nástroje“ a „nastavení dotykem“ jsou náklady nulové, protože není použito žádného vnějšího zařízení mimo CNC stroje.

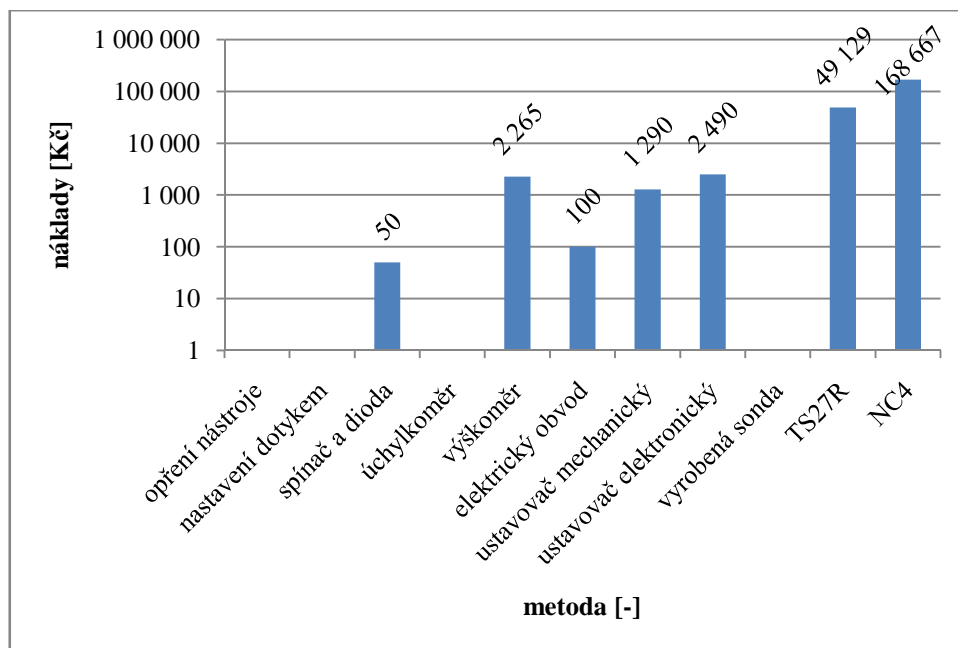
Úchylkoměr a „vyrobená sonda“ mají též náklady nulové, jelikož tato zařízení jsou na katedře již zakoupena.

Způsob „spínače a diody“ vyžadoval zakoupení LED diody a držáku na baterie. Ostatní příslušenství bylo dostupné na katedře.

U „elektrického obvodu“ by bylo třeba zakoupit konektor pro připojení k řídicímu systému. Další náklady by záležely na propracovanosti zařízení.

Při použití jedné z metod výškoměr, ustavovač mechanický, či elektronický by bylo třeba vybrané zařízení zakoupit.

Sondy TS27R a NC4 kvůli vysoké ceně nejsou aplikovatelné.



**Graf 2 – Pořizovací náklady v logaritmickém měřítku**

U kalibračního zařízení (metody) je třeba přihlížet k prostorové náročnosti, jelikož stroj má značně malý pracovní prostor, proto je třeba jej příliš nezmenšit.

Na grafu 3 je srovnání velikostí zabíraného prostoru, kde „0“ znamená žádný zabraný prostor. Stupeň „5“ je nejvíce zabíraný prostor z navržených metod.

Metoda „opření nástroje“ a „nastavení dotykem“ mají prostorovou náročnost nulovou – není třeba žádného zařízení, či přípravku.

Způsob kalibrace „spínač a dioda“ zabírá jako prototyp poměrně hodně prostoru. Tento prostor by se dal značně zmenšit úpravami na přípravku a spínači.

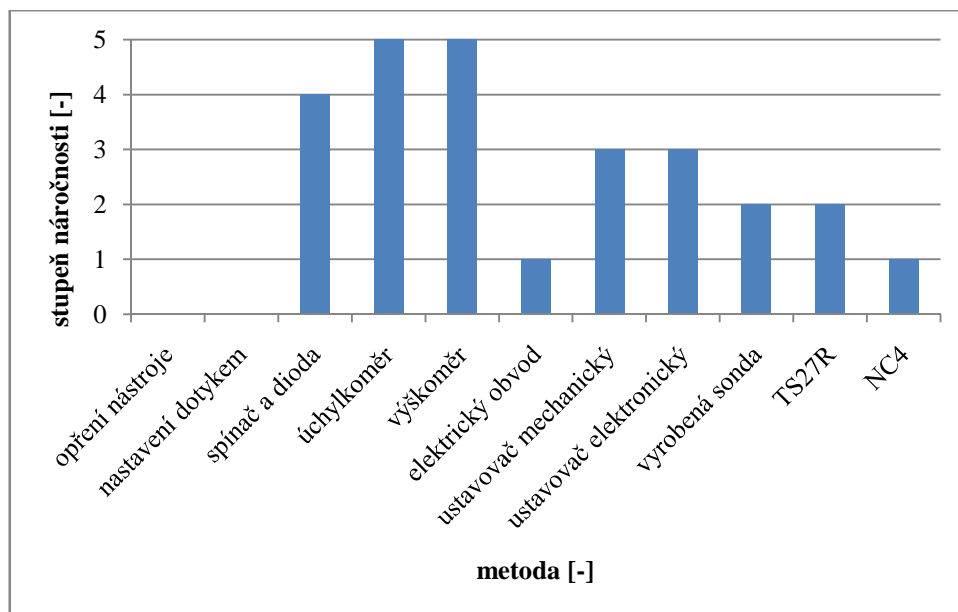
Úchylkoměr zabírá hodně místa stojánkem.

Výškoměr je zcela nevhodný, jelikož je velmi vysoký.

Metoda „elektrický obvod“ by zabírala místo podle provedení. Pokud by nebyl proveden návrh s bezpečnostní inverzí, pak by zabírala minimum místa.

Ustavovač mechanický a elektronický jsou v přijatelné velikosti, prostor by nebyl příliš zmenšen. Stejně tak „vyrobená sonda“ a sonda TS27R, které zabírají o něco méně místa.

Sonda NC4 by do pracovního prostoru nezasahovala vůbec.



**Graf 3 – Prostorová náročnost**

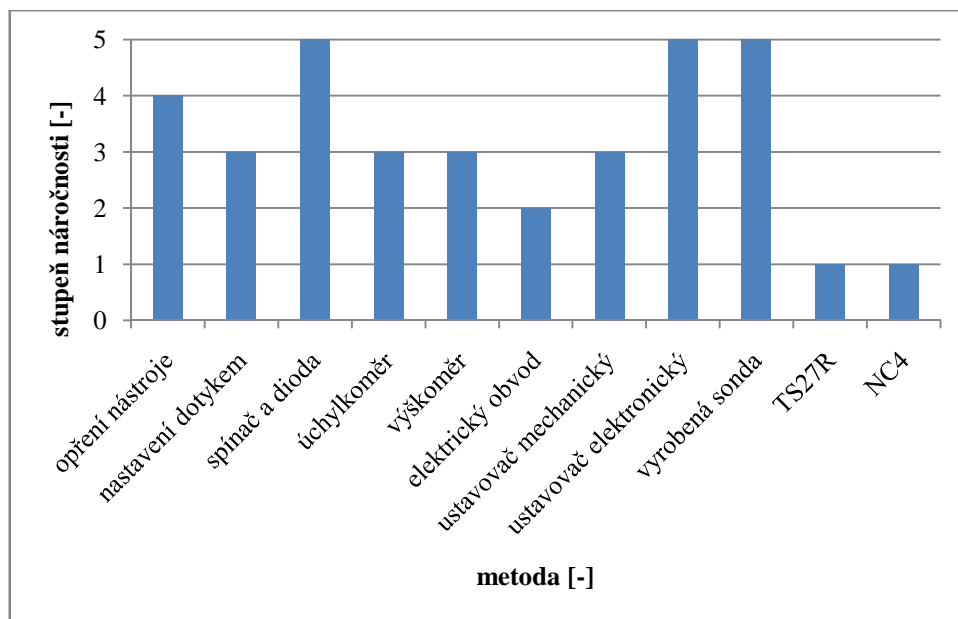
Posledním rozebíraným hlediskem je náročnost na obsluhu. Tato vlastnost není příliš důležitá, protože prototyp CNC stroje nevyrábí výrobky v sériové výrobě, kde čas ušetřený při kalibraci znamená peníze vydělané navíc.

Nejvíce náročné na obsluhu jsou „spínač a dioda“, ustavovač elektronický a „vyrobená sonda“. Je to z důvodu zdlouhavého hledání polohy těsně po sepnutí.

Metoda „opření nástroje“ je náročná pro svoji náročnou proveditelnost.

Způsoby kalibrace „nastavení dotykem“, výškoměrem, úchylkoměrem a ustavovačem nejsou tak náročné, jelikož se dá rychleji přibližovat nástrojem do žádané polohy z důvodu optické kontroly polohy nástroje, resp. číselníku.

K „elektrickému obvodu“ a „vyrobené sondě“ (v případě zapojení do konektoru „probe“) by bylo vhodné vypracovat program, čímž by se náročnost na obsluhu snížila na úroveň sond TS27R a NC4, které jsou téměř bez nároků na obsluhu.



**Graf 4 –Náročnost na obsluhu**

Přezkoumáním cen jednotlivých metod lze zcela jistě vyloučit metody sond. Metoda „elektrického obvodu“ je vyloučena náročností na zapojení. Způsob kalibrace „opření nástroje“ je nepoužitelný pro svoji značnou nepřesnost. Úchylkoměr a výškoměr jsou vyloučeny zabíraným prostorem. Mechanický ustavovač je vyřazen spínačem při porovnání se „spínačem a diodou“, jelikož ustavovač nedosahuje takové přesnosti, má výrazně vyšší náklady na pořízení. Náročnost na obsluhu je přibližně stejná. Elektronický ustavovač a „spínač a dioda“ jsou vyřazeny v porovnání s „vyrobenou sondou“ pořizovacími náklady, přesností.

Vylučovací metodou tedy zbývá „nastavení dotykem“, a „vyrobená sonda“. Jelikož oba způsoby kalibrace jsou dostupné, tak záleží na obsluze, který způsob si vybere. Pokud bude při výrobě hlavním hlediskem rychlá kalibrace, nebo je třeba celý pracovní prostor, pak je vhodné zvolit „nastavení dotykem“. V případě požadované vyšší přesnosti je dobré zvolit metodu „vyrobená sonda“.

Do budoucna by jistě bylo vhodné se zabývat metodou „elektrický obvod“ a „vyrobená sonda“ při použití konektoru „probe“ z důvodu automatizace.

Pro zajímavost jsou v příloze č. 4 grafy porovnávající hodnoty získané úchylkoměrem a řídicím systémem při měření. Rozdíl mezi hodnotami naměřenými úchylkoměrem a řídicím systémem je  $(-0,0017 \pm 0,0067)$  mm.

## 10 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo najít nejvhodnější způsob a postup výměny nástroje a jeho kalibrace při jednom zapnutí prototypu CNC stroje.

Práce se zabývá ve třetí kapitole rozbořem druhů upínání nástroje a jejich vlastností. Zde šlo hlavně o vliv na přesnost opakovaného upnutí nástroje. Dále byly uvedeny tvary držáků, způsoby výměny a skladování nástrojů a jejich vlastnosti.

Následující kapitola se zabývala možnými metodami kalibrace nástroje. Byly uvedeny možnosti jak komerční, nekonvenční, tak metody dosažitelné pomocí zařízení, či přípravků dostupných na katedře výrobních systémů. Uvedeny byly vlastnosti, výhody, nevýhody každé možnosti, postup výměny a kalibrace nástroje.

Bylo třeba vypracovat postup měření, provést jej a vypočítat z naměřených hodnot přesnost u metod, kde nebyla známa přesnost, aby bylo možné provést porovnání a výběr vhodné metody.

Porovnání všech metod podle důležitých vlastností, jako přesnost, pořizovací náklady, prostorová náročnost, či náročnost obsluhy, následovalo v kapitole 9. Vylučovací metodou byly vybrány dvě vhodné metody. Další dvě byly doporučeny jako metody, kterými by bylo možné se dále zabývat, jelikož nebyly pro svoji náročnost testované, přitom jejich vlastnosti jako přesnost, rychlost a možnost automatizace jsou neopomenutelné.

Tímto byly cíle práce splněny, jelikož byly nalezeny vhodné metody výměny nástroje a kalibrace pro řešený prototyp CNC stroje na Katedře výrobních systémů.

Práce dále může sloužit jako zdroj informací, či podklad, při vyhledávání vhodné metody kalibrace u jiných strojů.

Další možné pokračování práce, např. formou diplomové práce, je provést rozbor vlastností sond, zejména jejich způsobu odměřování a zapojení. Vyřešit dále zapojení do řídicího systému Acramatic 2100 a vytvořit program, který by celou kalibraci zjednodušil automatizací.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] Wikipedia : *Morse kužel* [online]. 2002 [cit. 2009-11-08]. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Morse\\_kužel](http://cs.wikipedia.org/wiki/Morse_kužel)>.
- [2] Kleštiny : *Upínací kleštiny* [online]. [2001] [cit. 2009-11-16]. Dostupný z WWW: <<http://klestiny.kvalitne.cz/>>.
- [3] MM Průmyslové spektrum : *Upínače stopkových nástrojů* [online]. 2001 [cit. 2009-11-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/upinace-stopkovych-nastroju>>.
- [4] Winter servis s.r.o. : *SCHUNK - UPÍNÁNÍ NÁSTROJŮ - Tendo – hydro-deformační upínače* [online]. [2008] [cit. 2009-11-02]. Dostupný z WWW: <[http://www.winter-servis.cz/index.php?page=schunk/n\\_tendo](http://www.winter-servis.cz/index.php?page=schunk/n_tendo)>.
- [5] Winter servis s.r.o. : *SCHUNK - UPÍNÁNÍ NÁSTROJŮ - Tribos – silově deformační upínače* [online]. [2008] [cit. 2009-11-02]. Dostupný z WWW: <[http://www.winter-servis.cz/index.php?page=schunk/n\\_tribos](http://www.winter-servis.cz/index.php?page=schunk/n_tribos)>.
- [6] VIGNER, M. et al. *Technický průvodce : Obrábění*. [s.l.] : [s.n.], 1984. s. 216-218.
- [7] DOC. ING HOUŠA, CSC., JAROMÍR et al. *Konstrukce číslicově řízených obráběcích strojů*. [s.l.] : [s.n.], 1985. s. 190-214.
- [8] SUCHNA, Karel. Automatické měření a seřizování nástrojů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 25.8.2009, 9, [cit. 2010-03-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/automaticke-mereni-a-serizovani-nastroju>>.
- [9] NÁDVORNÍK, Petr. Vysoká přesnost a nízká cena?. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 10.1.2008, 5, [cit. 2010-03-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vysoka-presnost-a-nizka-cena>>.
- [10] *Jirka and spol.* [online]. 1999 [cit. 2010-03-15]. Ustavovač nulové polohy. Dostupné z WWW: <<http://www.jirkaspol.cz/nastavovac-nulove-polohy-1-1-72.html>>.
- [11] *Renishaw* [online]. 1995 [cit. 2010-03-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.renishaw.cz/media/pdf/cs/32b7be44c9d6449d903d43a9cf98791a.pdf>>.
- [12] *Výrobní stroje* [online]. 1999 [cit. 2010-03-21]. Ostatní příslušenství. Dostupné z WWW: <[http://www.vyrobnistroje.cz/cz/Prislusenstvi\\_Ostatni.aspx](http://www.vyrobnistroje.cz/cz/Prislusenstvi_Ostatni.aspx)>.
- [13] *Renishaw* [online]. 2001 [cit. 2010-03-29]. TS27R – kontaktní sonda pro nastavování nástrojů. Dostupné z WWW: <<http://www.renishaw.cz/cs/ts27r-kontakttni-sonda-pro-nastavovani-nastroju--6090>>.
- [14] *Renishaw* [online]. 2001 [cit. 2010-03-31]. NC4 – bezkontaktní systém nastavování nástrojů pomocí laseru. Dostupné z WWW: <<http://www.renishaw.cz/cs/nc4-bezkontaktni-system-nastavovani-nastroju-pomoci-laseru--6099>>.
- [15] *Jirka and spol.* [online]. 1999 [cit. 2010-04-05]. Analogové výškoměry 1-sloupkové. Dostupné z WWW: <<http://www.jirkaspol.cz/analogove-vyskomery-1-1-61.html>>.
- [16] Směrodatná odchylka In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 18. 10. 2005, 29. 1. 2010 [cit. 2010-05-18]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Sm%C4%9Brodaln%C3%A1\\_odchylka](http://cs.wikipedia.org/wiki/Sm%C4%9Brodaln%C3%A1_odchylka)>.
- [17] *CNC* [online]. 2009 [cit. 2010-05-23]. Sejmutí polohy konce nástroje. Dostupné z WWW: <<http://www.c-n-c.cz/viewtopic.php?p=47371#47371>>.

## **Seznam příloh**

- Příloha č. 1** – Cenová nabídka od firmy Renishaw na sondu TS27R
- Příloha č. 2** – Cenová nabídka od firmy Renishaw na sondu NC4
- Příloha č. 3** – Tabulky naměřených hodnot u měřených způsobů kalibrace
- Příloha č. 4** – Grafy odchylek od středních hodnot u měřených způsobů kalibrace

# Příloha č. 1 – Cenová nabídka od firmy Renishaw na sondu TS27R

Renishaw plc  
New Mills, Wotton-under-Edge  
Gloucestershire, GL12 8JR  
United Kingdom

Tel. +420 548 218 553  
Fax. +420 548 218 573  
E-mail: czech@renishaw.com  
www.renishaw.com



## NABÍDKA č.: JSE220/0910 na uzavření kupní smlouvy

<b>PRODávAJÍCÍ:</b> <b>Renishaw Plc.</b> New Mills, Wotton-under-Edge GL12 8JR, Gloucestershire, United Kingdom  Registrace k DPH ve Velké Británii pod číslem GB422900581 Bankovní spojení: Fortis Bank Praha, BIC: GEBACZPP účet CZK: 6100044411/8300, IBAN: CZ29 8300 0000 0081 0004 4411 účet EUR: 6100049941/8300, IBAN: CZ65 8300 0000 0081 0004 9941	<b>KUPUJÍCÍ:</b> <b>TOS Varnsdorf a.s.</b> Řiční 1774 407 47 Varnsdorf Czech Republic  IČ/DIČ: _____
---	--

Prodávající se zavazuje dodat kupujícímu dále uvedené Výrobky, spolu s doklady, které se k Výrobkům vztahují a převést na kupujícího vlastnické právo k Výrobkům a kupující se zavazuje Výrobky převzít, převzetí Výrobků písemně potvrdit a zaplatit Prodávajícímu kupní cenu Výrobků.

Výrobky, jejich stručný popis, rozsah dodávky (počet kusů) a kupní cena v úrovni bez daně z přidané hodnoty.

Objednací číslo	Popis	Ks	Cena / kus	Sleva	Cen a celkem
A-2008-0397	TS27R KIT/12.7 DISC/	1	CZK 32 440,00		32 440,00
P-CF01-0001	CONDUIT 1/4" ID	4	CZK 174,99		699,96
P-CF02-0001	GLAND 1/4" WITH INSE	1	CZK 115,43		115,43
retrofit	Instalace a zaškolení	1	CZK 15 675,00		15 675,00
<b>Cena celkem</b>			<b>CZK</b>		<b>48 930,39</b>
<b>Přepavné</b>			<b>CZK</b>		<b>199,50</b>
<b>Vaše cena</b>			<b>CZK</b>		<b>49 129,89</b>
Uvedená cena je bez DPH.					
Zaocchi bude fakturováno se sazbou DPH ve výši 0%.					

Splatnost kupní ceny: do 30 (třiceti) dnů ode dne dodání Výrobků.  
Termín dodání: do 4 (čtyř) týdnů ode dne uzavření kupní smlouvy.  
Místo dodání: .....

Všechny spory vznikající z této smlouvy a v souvislosti s ní, včetně otázek její platnosti, eventuálně následků její neplatnosti, budou rozhodovány s konečnou platností u Rozhodčího soudu při Hospodářské komoře České republiky a Agrární komoře České republiky podle jeho Řádu a Pravidel jedním rozhodcem jmenovaným předsedou Rozhodčího soudu podle anglického práva. Místem rozhodčího řízení bude Brno, Česká republika, a jazykem rozhodčího řízení bude český jazyk.

Část obsahu kupní smlouvy je určena Všeobecnými obchodními podmínkami společnosti Renishaw plc., jež jsou k této nabídce (návrhu na uzavření kupní smlouvy) přiloženy. Přijetím nabídky kupující potvrzuje, že jsou mu tyto všeobecné podmínky známy a že jedno jejich vyhotovení převzal. Tato nabídka má včetně úvodního sdělení 8 stran a je platná 30 dnů od data vystavení.

V Brně dne _____ 29.3.2010 _____  Renishaw plc zastoupená Josefem Slárou, jednatelem Renishaw s.r.o. dle plné moci	Tuto nabídku č.: JSE220/0910 na uzavření kupní smlouvy bez výhrad přijímáme:  V _____ dne _____  Čitelné jméno jednatelky osoby: _____  Podpis jednatelky osoby: _____
---	--

Registered office  
New Mills, Wotton-under-Edge,  
Gloucestershire GL12 8JR

Registered number  
1106260, England





## Příloha č. 2 – Cenová nabídka od firmy Renishaw na sondu NC4

Renishaw plc  
New Mills, Wotton-under-Edge  
Gloucestershire, GL12 8JR  
United Kingdom

Tel. +420 548 218 553  
Fax. +420 548 218 573  
E-mail: czech@renishaw.com  
www.renishaw.com

**RENISHAW**  
apply innovation

### NABÍDKA č.: JSE221/0910 na uzavření kupní smlouvy

<b>PRODÁVAJÍCÍ:</b> <b>Renishaw Plc.</b> New Mills, Wotton-under-Edge GL12 8JR, Gloucestershire, United Kingdom  Registrace k DPH ve Velké Británii pod číslem GB422900581 Bankovní spojení: Fortis Bank Praha, BIC: GEBACZPP účet CZK: 6100044411/6300, IBAN: CZ62 6300 0000 0001 0004 4411 účet EUR: 6100049941/6300, IBAN: CZ65 6300 0000 0081 0004 9941	<b>KUPUJÍCÍ:</b> <b>TOS Varnsdorf a.s.</b> Říční 1774 407 47 Varnsdorf Czech Republic  IČ/DIČ: _____
---	--

Prodávající se zavazuje dodat kupujícímu dále uvedené Výrobky, spolu s doklady, které se k Výrobkům vztahují a převést na kupujícího vlastnické právo k Výrobkům a kupující se zavazuje Výrobky převzít, převzetí Výrobků písemně potvrdit a zaplatit Prodávajícímu kupní cenu Výrobků.

Výrobky, jejich stručný popis, rozsah dodávky (počet kusů) a kupní cena v úrovni bez daně z přidané hodnoty.

Objednací číslo	Popis	Ks	Cena / kus	Sleva	Cena celkem
A-4114-5110	NC4 F300 KIT	1	CZK 151 818,93		151 818,93
P-CF01-0004	CONDUIT 5/16 POLYEUR	4	CZK 178,98		715,92
P-CF02-0004	GLAND FITTING 5/16"	1	CZK 258,50		258,50
retrofit	instalace a zaškolení	1	CZK 15 675,00		15 675,00
<b>Cena celkem</b>			<b>CZK</b>		<b>168 468,35</b>
<b>Převravné</b>			<b>CZK</b>		<b>199,50</b>
<b>Vaše cena</b>			<b>CZK</b>		<b>168 667,85</b>
Uvedená cena je bez DPH.					
Zboží bude fakturováno se sazbou DPH ve výši 0%.					

Splatnost kupní ceny: do 30 (třiceti) dnů ode dne dodání Výrobků  
Termín dodání: do 4 (čtyř) týdnů ode dne uzavření kupní smlouvy

Místo dodání:

Všechny spory vznikající z této smlouvy a v souvislosti s ní, včetně otázek její platnosti, eventuálně následků její neplatnosti, budou rozhodovány s konečnou platností u Rozhodčího soudu při Hospodářské komoře České republiky a Agrární komoře České republiky podle jeho Řádu a Pravidel jedním rozhodcem jmenovaným předsedou Rozhodčího soudu podle anglického práva. Místem rozhodčího řízení bude Brno, Česká republika, a jazykem rozhodčího řízení bude český jazyk.

Část obsahu kupní smlouvy je určena Všeobecnými obchodními podmínkami společnosti Renishaw plc., jež jsou k této nabídce (návrhu na uzavření kupní smlouvy) přiloženy. Přijetím nabídky kupující potvrzuje, že jsou mu tyto všeobecné podmínky známy a že jedno jejich vyhotovení převzal. Tato nabídka má včetně úvodního sdělení 8 stran a je platná 30 dnů od data vystavení.

V Brně dne <u>29.3.2010</u>  Renishaw plc zastoupené Josefem Slárou, jednatelem Renishaw s.r.o. dle plné moci	Tuto nabídku č.: JSE221/0910 na uzavření kupní smlouvy bez výhrad přijímáme:  V _____ dne _____  Čitelné jméno jednající osoby: _____  Podpis jednající osoby: _____
--	---

Registered office  
New Mills, Wotton-under-Edge,  
Gloucestershire GL12 8JR

Registered number  
1106280, England



### Příloha č. 3 – Tabulky naměřených hodnot u měřených způsobů kalibrace

Metoda „spínač a dioda“							
Hodnoty měřené úchylkoměrem				Hodnoty z řídicího systému			
č. měření [-]	$z$ [mm]	$z - \bar{z}$ [mm]	$(z - \bar{z})^2$ [mm <sup>2</sup> ]	č. měření [-]	$z$ [mm]	$z - \bar{z}$ [mm]	$(z - \bar{z})^2$ [mm <sup>2</sup> ]
1.	0,337	0,0084	7,056E-05	1.	-6,8698	0,0178	0,000317
2.	0,35	0,0046	2,116E-05	2.	-6,8518	-0,0002	4E-08
3.	0,353	0,0076	5,776E-05	3.	-6,8668	0,0148	0,000219
4.	0,37	0,0246	0,0006052	4.	-6,8818	0,0298	0,000888
5.	0,348	0,0026	6,76E-06	5.	-6,8538	0,0018	3,24E-06
6.	0,345	-0,0004	1,6E-07	6.	-6,8478	-0,0042	1,76E-05
7.	0,34	-0,0054	2,916E-05	7.	-6,8388	-0,0132	0,000174
8.	0,338	-0,0074	5,476E-05	8.	-6,8348	-0,0172	0,000296
9.	0,333	-0,0124	0,0001538	9.	-6,8328	-0,0192	0,000369
10.	0,34	-0,0054	2,916E-05	10.	-6,8418	-0,0102	0,000104
$\bar{z}$ [mm]				$\bar{z}$ [mm]			
0,3454				-6,852			
$s$ [mm]				$s$ [mm]			
0,0106				0,01628			

$z$  – naměřená hodnota [mm]

$\bar{z}$  – střední hodnota [mm]

$s$  – střední směrodatná odchylka [mm]

Metoda „nastavení dotykem“							
Hodnoty měřené úchylkoměrem				Hodnoty z řídicího systému			
č. měření [-]	$z$ [mm]	$z - \bar{z}$ [mm]	$(z - \bar{z})^2$ [mm <sup>2</sup> ]	č. měření [-]	$z$ [mm]	$z - \bar{z}$ [mm]	$(z - \bar{z})^2$ [mm <sup>2</sup> ]
1.	0,446	-0,0444	0,0019714	1.	10,6546	-0,0366	0,00134
2.	0,443	-0,0474	0,0022468	2.	10,6536	-0,0356	0,001267
3.	0,505	0,0146	0,0002132	3.	10,5916	0,0264	0,000697
4.	0,55	0,0596	0,0035522	4.	10,5626	0,0554	0,003069
5.	0,485	-0,0054	2,916E-05	5.	10,6396	-0,0216	0,000467
6.	0,496	0,0056	3,136E-05	6.	10,6266	-0,0086	7,4E-05
7.	0,492	0,0016	2,56E-06	7.	10,6146	0,0034	1,16E-05
8.	0,48	-0,0104	0,0001082	8.	10,6296	-0,0116	0,000135
9.	0,524	0,0336	0,001129	9.	10,5826	0,0354	0,001253
10.	0,483	-0,0074	5,476E-05	10.	10,6246	-0,0066	4,36E-05
$\bar{z}$ [mm]				$\bar{z}$ [mm]			
0,4904				10,618			
$s$ [mm]				$s$ [mm]			
0,0322				0,0304			

$z$  – naměřená hodnota [mm]

$\bar{z}$  – střední hodnota [mm]

$s$  – střední směrodatná odchylka [mm]

Metoda „opření nástroje“							
Hodnoty měřené úchylkoměrem				Hodnoty z řídicího systému			
č. měření [-]	$z$ [mm]	$z - \bar{z}$ [mm]	$(z - \bar{z})^2$ [mm <sup>2</sup> ]	č. měření [-]	$z$ [mm]	$z - \bar{z}$ [mm]	$(z - \bar{z})^2$ [mm <sup>2</sup> ]
1.	0,592	0,0433	0,0018749	1.	-	-	-
2.	0,486	-0,0627	0,0039313	2.	-	-	-
3.	0,55	0,0013	1,69E-06	3.	-	-	-
4.	0,632	0,0833	0,0069389	4.	-	-	-
5.	0,535	-0,0137	0,0001877	5.	-	-	-
6.	0,451	-0,0977	0,0095453	6.	-	-	-
7.	0,629	0,0803	0,0064481	7.	-	-	-
8.	0,575	0,0263	0,0006917	8.	-	-	-
9.	0,498	-0,0507	0,0025705	9.	-	-	-
10.	0,539	-0,0097	9,409E-05	10.	-	-	-
$\bar{z}$ [mm]				$\bar{z}$ [mm]			
0,5487				-			
$s$ [mm]				$s$ [mm]			
0,0598				-			

$z$  – naměřená hodnota [mm]

$\bar{z}$  – střední hodnota [mm]

$s$  – střední směrodatná odchylka [mm]

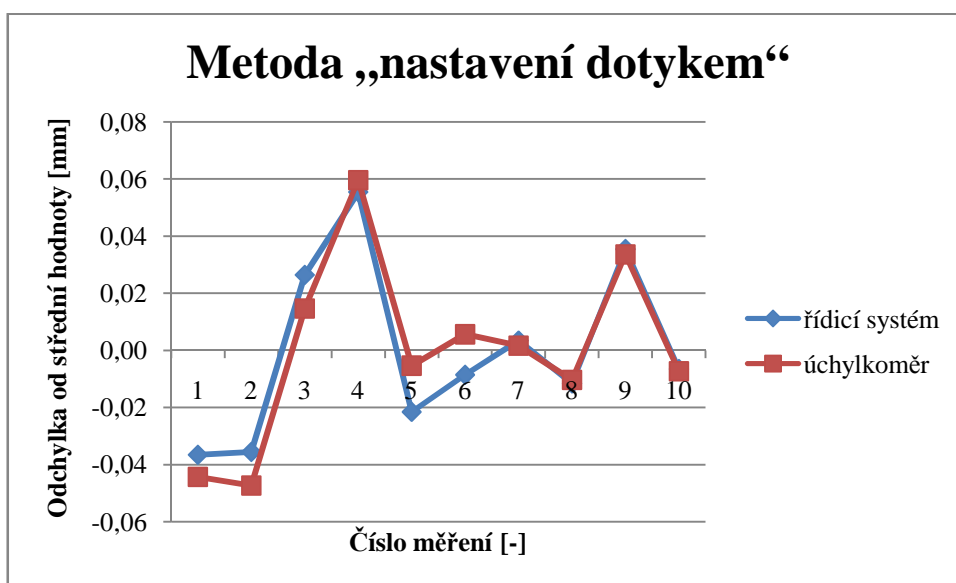
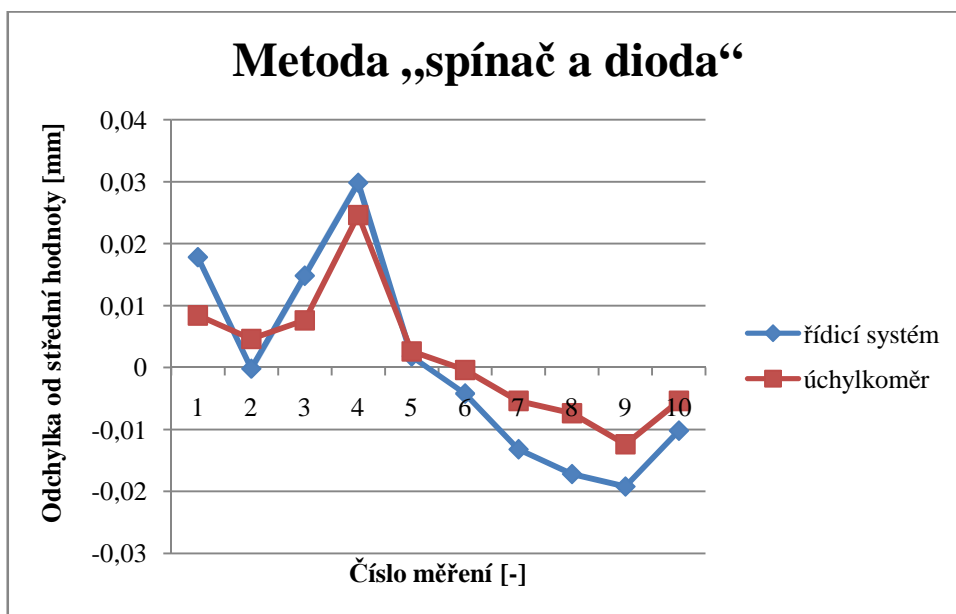
Metoda „vyrobená sonda“							
Hodnoty měřené úchylkoměrem				Hodnoty z řídicího systému			
č. měření [-]	$z$ [mm]	$z - \bar{z}$ [mm]	$(z - \bar{z})^2$ [mm <sup>2</sup> ]	č. měření [-]	$z$ [mm]	$z - \bar{z}$ [mm]	$(z - \bar{z})^2$ [mm <sup>2</sup> ]
1.	0,527	-0,0018	3,24E-06	1.	0,013	0,0035	1,23E-05
2.	0,543	0,0142	0,0002016	2.	0,026	0,0165	0,000272
3.	0,526	-0,0028	7,84E-06	3.	0,009	-0,0005	2,5E-07
4.	0,526	-0,0028	7,84E-06	4.	0,007	-0,0025	6,25E-06
5.	0,526	-0,0028	7,84E-06	5.	0,006	-0,0035	1,23E-05
6.	0,532	0,0032	1,024E-05	6.	0,011	0,0015	2,25E-06
7.	0,527	-0,0018	3,24E-06	7.	0,006	-0,0035	1,23E-05
8.	0,527	-0,0018	3,24E-06	8.	0,006	-0,0035	1,23E-05
9.	0,527	-0,0018	3,24E-06	9.	0,007	-0,0025	6,25E-06
10.	0,527	-0,0018	3,24E-06	10.	0,004	-0,0055	3,03E-05
$\bar{z}$ [mm]				$\bar{z}$ [mm]			
0,5288				0,0095			
$s$ [mm]				$s$ [mm]			
0,0053				0,0064			

$z$  – naměřená hodnota [mm]

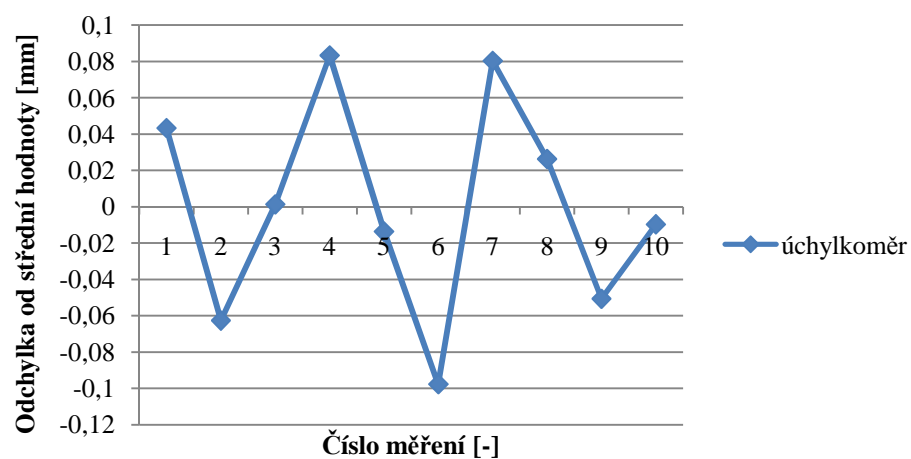
$\bar{z}$  – střední hodnota [mm]

$s$  – střední směrodatná odchylka [mm]

## Příloha č. 4 – Grafy odchylek od středních hodnot u měřených způsobů kalibrace



## Metoda „opření nástroje“



## Metoda „vyrobená sonda“

